

**FABRIKASI DAN PENGANODAN KOMPOSIT
MATRIKS ALUMINIUM DIPERBUAT DARIPADA
SERBUK ALUMINIUM BERBENTUK KEPINGAN
DAN GENTIAN PENDEK ALUMINA SAFFIL™**

Oleh

MOHD NAZREE BIN DERMAN

Tesis diserahkan untuk memenuhi keperluan Ijazah Doktor Falsafah

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
MAC 2006**

PENGHARGAAN

Dengan Nama Allah Yang Maha Pemurah Lagi Maha Penyayang.

Segala pujian dan syukur ke hadrat Allah S.W.T di atas segala limpah kurnianNya. Segala pujian khusus untuk Nabi Muhammad S.A.W. dan kesejahteraan para anbiya'a dan para sahabat radiallahuanhum.

Pertama sekali, ucapan terima kasih kepada Dr. Nurulakmal binti Mohd Sharif sebagai penyelia utama yang sentiasa memberikan dorongan, bantuan dan bimbingan sepanjang perjalanan penyelidikan ini. Ucapan terima kasih kepada Prof. Dr. Hj. Zainal Arifin bin Hj. Ahmad sebagai penyelia bersama yang banyak menyumbangkan idea, bimbingan dan nasihat serta komen-komen penting dalam melancarkan penyelidikan yang dijalankan. Ucapan terima kasih juga kepada Profesor Madya Dr. Luay Bakir Hussein kerana sudi menjadi penyelia bersama dalam penyelidikan ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan juga ditujukan kepada Pentadbiran Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan & Sumber Mineral dan Universiti Sains Malaysia terutamanya Dekan, Prof. Madya Dr. Khairun Azizi bt. Mohd Azizli dan Timbalan Dekan Ijazah Tinggi & Penyelidikan, Prof. Madya Dr. Azizan bin Aziz kerana telah menawarkan tempat pengajian PhD. Penghargaan dan ucapan terima kasih juga kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi kerana memberikan biasiswa "National Science Fellowship (NSF)" untuk tempoh pengajian ini.

Terima kasih kepada semua kakitangan akademik dan juruteknik khususnya En. Rashid, En. Suhaimi, En. Rokman, En. Shahrul, En. Shahid, En. Mohamad, En. Razak dan Pn. Fong di atas bantuan yang diberikan. Juga kepada sahabat-sahabat

seperjuangan, Nik Mohd Polo, Shah Rizal, Mohd Al Amin, Khairul Rafezi, Wan Mohd Arif, Yeoh Cheow Keat, Mohd Warikh, Julie Juliewati, Noraziana, Zuraidawani, Kong Chia Wei, En. Mohd Halim, En. Zaky, Dr. Hasmaliza, Dr. Srimala, Dr. Sabar dan Dr. Azmin yang banyak membantu, memberikan galakan dan dorongan bagi menghadapi semua cabaran dalam menyiapkan penyelidikan.

Buat ayah, Haji Derman bin Salaton dan emak, Hjh. Mardiah binti Mazuki serta keluarga, anakmu menjunjung kasih di atas segala pengorbanan yang diberikan. Harapan anakmu ini agar tidak menghampakan hajat keluarga untuk melihat berjaya menamatkan pengajian ini. Semoga doa dan restumu akan diberkati Yang Maha Esa.

Kepada mereka yang namanya tidak dicatatkan di atas, mohon ampun dan maaf dipinta terlebih dahulu. Jasa baik semua, pasti akan dikenang dan diingat sepanjang hayatku.

Sekian. Terima kasih.

MOHD NAZREE BIN DERMAN.

Mac 2006

KANDUNGAN

Isi Kandungan	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	iv
SENARAI RAJAH	ix
SENARAI JADUAL	xii
SENARAI KEPENDEKAN NAMA	xiii
SENARAI SIMBOL	xiv
SENARAI LAMPIRAN	xiv
SENARAI PENERBITAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xviii
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Kesan serbuk Al berbentuk kepingan dalam komposit matriks aluminium KMA yang difabrikasi melalui kaedah MS	5
1.3 Kelakuan haus dan kakisan (KMA) yang difabrikasi melalui kaedah metalurgi serbuk (MS)	6
1.4 Salutan penganodan kepada produk MS	8
1.5 Kesan gentian pendek alumina Saffil™ dalam KMA yang difabrikasi daripada kaedah MS terhadap kelakuan salutan penganodan, kakisan dan haus	10
1.6 Objektif penyelidikan	11
1.7 Pendekatan penyelidikan	12
BAB 2 KAJIAN PERSURATAN	
2.1 Pengenalan kepada bahan komposit	14

2.1.1	Definisi bahan komposit	14
2.1.2	Matriks dan penguat	17
2.1.3	Antaramuka penguat dan matriks	21
2.2.	Pengenalan komposit matriks logam (KML)	24
2.2.1	Komposit matriks aluminium (KMA)	25
2.2.1.1	Serbuk Al berbentuk sfera.	27
2.2.1.2	Serbuk Al berbentuk kepingan	29
2.2.1.3	Gentian sebagai bahan penguat dalam KMA .	32
2.2.1.4	Gentian pendek alumina.	33
2.2.1.5	Gentian pendek alumina Saffil™	35
2.3	Fabrikasi komposit matriks logam.	37
2.3.1.	Fabrikasi umum komposit matriks aluminium (KMA)	37
2.3.2.	Pengenalan metalurgi serbuk	39
2.3.3	Proses-proses MS.	40
2.3.3.1	Pencampuran.	41
2.3.3.2	Pemadatan.	42
2.3.3.3	Pensinteran.	42
2.3.4	Pembuatan komposit Al dengan kaedah MS	44
2.3.5	Aplikasi KMA yang diperbuat daripada MS	46
2.3.6	Fabrikasi KMA diperkuat gentian alumina Saffil™	47
2.4	Penganodan	49
2.4.1	Salutan oksida	50
2.4.2	Proses penganodan asid sulfurik (H ₂ SO ₄)	52
2.4.3	Penganodan KMA	55

2.5	Kakisan	57
2.5.1	Pengenalan kakisan	57
2.5.2	Temodinamik kakisan	58
2.5.3	Kakisan Al dan aloi Al	63
2.5.4	Kakisan KMA	71
2.5.5	Kakisan KMA berpenguat Al ₂ O ₃	73
2.5.6	Pencirian kakisan melalui pengutuban elektrokimia	75
2.6	Haus	75
2.6.3	Haus pada KMA	76
2.6.4	Kajian haus terhadap salutan	80
BAB 3 KAEDAH EKSPERIMEN		
3.1	Pendahuluan	83
3.2	Bahan mentah	83
3.2.1	Serbuk Al	83
3.2.2	Gentian pendek alumina Saffil™	84
3.3	Bahagian A: Rekabentuk eksperimen untuk fabrikasi komposit matriks Al diperkuat gentian pendek alumina Saffil™	85
3.3.1	Penentuan parameter pensinteran KMA diperkuat gentian pendek alumina Saffil™	89
3.3.2	Ujian pencirian KMA	90
3.3.2.1	Kajian mikrostruktur	90
3.3.2.2	Ujian ketumpatan dan keliangan ketara	91
3.3.2.3	Ujian tegangan	92
3.3.2.4	Ujian mikrokekerasan	93
3.3.2.5	Ujian pengembangan terma	93
3.3.2.6	Analisis fasa	94

3.3.2.7 Analisis pengembangan linear	94
3.4 Bahagian B: Rekabentuk eksperimen penganodan asid sulfurik terhadap KMA diperkuat gentian pendek alumina Saffil™	94
3.4.1 Penyediaan eksperimen penganodan	95
3.4.2 Analisis selepas ujian penganodan	98
3.5 Bahagian C: Kajian kakisan terhadap KMA diperkuat gentian pendek alumina Saffil™ tersalut dan tanpa tersalut penganodan	98
3.5.1 Ujian elektrokimia	99
3.5.1.1 Sel kakisan	99
3.5.1.2 Potentiostat	100
3.5.1.3 Elektrod pembilang	100
3.5.1.4 Elektrod kerja	101
3.5.1.5 Elektrod rujukan	101
3.5.1.6 Larutan 3.5 % berat NaCl	101
3.5.2 Prosedur ujian elektrokimia kakisan	101
3.5.2.1 Ujian pengutuban	102
3.6 Bahagian D: Kajian haus terhadap KMA diperkuat gentian pendek alumina Saffil™ tersalut penganodan dan KMA diperkuat gentian pendek alumina Saffil™ tanpa salutan	102
3.6.1 Ujian pin-atas-cekera	103
 BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1 Pendahuluan	105
4.2 Bahagian A: Fabrikasi KMA daripada serbuk Al berbentuk kepingan dengan gentian pendek alumina Saffil™	105
4.2.1 Bahan mentah	105
4.2.2 Kajian tempoh pensinteran	107

4.2.3	Kajian kesan kandungan gentian pendek alumina Saffil™ dalam KMA	112
4.2.3.1	Kajian mikrostruktur komposit Al diperkuat gentian pendek alumina Saffil™	112
4.2.3.2	Keputusan ujian ketumpatan dan keliangan	115
4.2.3.3	Keputusan ujian tegangan	118
4.2.3.4	Keputusan ujian kekerasan	124
4.2.3.5	Penentuan pengembangan terma	125
4.2.3.6	Analisis fasa	129
4.2.3.7	Analisis perubahan panjang sampel tersinter.	129
4.3	Bahagian B: Keputusan penganodan asid sulfurik KMA	132
4.3.1	Kesan pengaruh bezaupaya penganodan	133
4.3.2	Kesan penganodan terhadap kepekatan asid sulfurik	136
4.3.3	Kajian morfologi penganodan	143
4.4	Bahagian C: Kajian kakisan KMA bersalut dan tanpa salutan penganodan	149
4.5	Keputusan dan pembincangan ujian haus KMA	156
4.5.1	Analisis ujian haus	156
4.5.2	Morfologi permukaan haus	161
4.6	Perbincangan keseluruhan	170
BAB 5 KESIMPULAN		
5.1	Kesimpulan	173
5.2	Cadangan	174
RUJUKAN		175
LAMPIRAN		185

SENARAI RAJAH

	ms
BAB 1	
Rajah 1.1	3
Rajah 1.2	13
BAB 2	
Rajah 2.1:	16
Rajah 2.2:	19
Rajah 2.3:	20
Rajah 2.4	21
Rajah 2.5	22
Rajah 2.6	22
Rajah 2.7	23
Rajah 2.8:	23
Rajah 2.9:	24
Rajah 2.10:	31
Rajah 2.11:	41
Rajah 2.12:	43
Rajah 2.13:	50
Rajah 2.14:	53
Rajah 2.15:	54
Rajah 2.16:	59
Rajah 2.17:	60
Rajah 2.18:	62
Rajah 2.19:	62
Rajah 2.20:	64
Rajah 2.21:	67
Rajah 2.22:	67
Rajah 2.23:	70
Rajah 2.24	77
Rajah 2.25:	77
Rajah 2.26:	81

BAB 3		
Rajah 3.1:	Carta alir kaedah eksperimen untuk menghasilkan komposit Al/Al ₂ O ₃ (a _n)	86
Rajah 3.2 :	Acuan yang digunakan dalam penyelidikan ini	88
Rajah 3.3:	Profail kajian tempoh pensinteran bagi sampel komposit Al/ Al ₂ O ₃ (a _n)	90
Rajah 3.4:	Gambarajah skematik sampel ujian tegangan mengikut pawai ASTM B 577	93
Rajah 3.5:	Acuan yang digunakan dalam ujian tegangan	93
Rajah 3.6:	Litar proses penganodan KMA diperkuat gentian pendek alumina Saffil™	96
Rajah 3.7:	Carta alir proses penganodan KMA diperkuat gentian pendek alumina Saffil™	97
Rajah 3.8:	Sel kakisan yang digunakan (ASTM G 5,1999)	100
Rajah 3.9 :	Kedudukan pin dan cakera dalam ujian kehausan pin di atas cakera. R ialah jarak gelongsoran, F ialah beban, D ialah diameter cakera, d ialah diameter sampel dan w ialah kelajuan putaran cakera	104
BAB 4		
Rajah 4.1:	Mikrograf SEM serbuk Al	106
Rajah 4.2:	Mikrograf SEM gentian pendek alumina Saffil™	107
Rajah 4.3:	Kesan tempoh pensinteran terhadap sifat kekerasan KMA	109
Rajah 4.4:	Mikrograf SEM bagi kesan tempoh pensinteran ke atas sampel KMA yang diperkuat gentian pendek alumina Saffil™ (pembesaran 1000 x)	111
Rajah 4.5:	Mikrostruktur menggunakan mikroskop optik (a) Al (b) KMA diperkuat 5 % berat gentian pendek alumina Saffil™, (c) KMA diperkuat 10 % berat gentian pendek alumina Saffil™, (d) KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™, (e) KMA diperkuat 20 % berat gentian pendek alumina Saffil™ dan (f) KMA diperkuat 25 % berat gentian pendek alumina Saffil™ (50 x)	113
Rajah 4.6:	Kesan penambahan peratus berat kandungan gentian berat terhadap ketumpatan komposit Al diperkuat gentian alumina Saffil™	116
Rajah 4.7:	Kesan kandungan gentian alumina terhadap keliangan KMA.	117
Rajah 4.8:	Kesan kandungan gentian alumina terhadap kekuatan tegangan KMA	119
Rajah 4.9	Kesan kandungan gentian alumina terhadap modulus elastik KMA	120
Rajah 4.10:	Mikrograf patah (a) Al (b) KMA diperkuat 5 % berat gentian pendek alumina Saffil™, (c) KMA diperkuat 10 % berat gentian pendek alumina Saffil™, (d) KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™, (e) KMA diperkuat 20 % berat gentian pendek alumina Saffil™ dan (f) KMA diperkuat 25 % berat gentian pendek alumina Saffil™ (50 x)	121
Rajah 4.11:	Kesan kandungan gentian terhadap kekerasan KMA diperkuat dengan gentian pendek alumina Saffil™	124
Rajah 4.12:	Kesan kandungan gentian pendek alumina Saffil™ terhadap sifat pengembangan terma	126
Rajah 4.13:	Kesan kandungan gentian terhadap PPT KMA diperkuat dengan gentian pendek alumina Saffil™	127
Rajah 4.14:	Keputusan XRD bagi (a) gentian pendek alumina Saffil™, (b) sampel Al, (c) KMA diperkuat 5 % berat gentian pendek alumina Saffil™, (d) KMA diperkuat 10 % berat gentian pendek alumina Saffil™, (e) KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™, (f) KMA diperkuat 20 % berat gentian pendek alumina Saffil™ dan (g) KMA	129

	diperkuat 25 % berat gentian pendek alumina Saffil™	
Rajah 4.15:	Kesan kandungan bahan penguat terhadap pengembangan linear KMA	130
Rajah 4.16:	Kesan bezaupaya terhadap proses penganodan KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina	134
Rajah 4.17	Pengaruh kepekatan asid sulfurik dalam penganodan KMA diperkuat gentian pendek alumina Saffil™	137
Rajah 4.18:	Perubahan permukaan sampel KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™ semasa proses penganodan di dalam larutan 5 % H ₂ SO ₄ untuk tempoh yang berbeza	139
Rajah 4.19	Perubahan permukaan sampel KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™ semasa proses penganodan di dalam larutan 10 % H ₂ SO ₄ untuk tempoh yang berbeza	140
Rajah 4.20	Perubahan permukaan sampel KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™ semasa proses penganodan di dalam larutan 15 % H ₂ SO ₄ untuk tempoh yang berbeza	141
Rajah 4.21	Perubahan permukaan sampel KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™ semasa proses penganodan di dalam larutan 20 % H ₂ SO ₄ untuk tempoh yang berbeza	142
Rajah 4.22	Pandangan permukaan penganodan terhadap Al dan KMA diperkuat 15 % berat gentian alumina Saffil™	144
Rajah 4.23:	Menunjukkan keratan rentas sampel Al dan KMA diperkuat 15 % berat gentian alumina Saffil™	146
Rajah 4.24:	Skematik menunjukkan mekanisme pembentukan salutan penganodan pada KMA diperkuat gentian pendek alumina Saffil™ (a) pembentukan lapisan filem anod terbentuk pada permukaan, (b) lapisan menebal dan menyentuh gentian, (c) pengoksidaan matriks Al bergerak mengelilingi keseluruhan gentian dan (d) keadaan gentian di dalam lapisan penganodan	148
Rajah 4.25:	Contoh kaedah ekstrapolasi Tafel yang telah dijalankan pada graf pengutuban sampel Al	150
Rajah 4.26:	Serangan kakisan terhadap sampel (a) Al dan (b) KMA diperkuat 15 % berat gentian alumina Saffil™ (c) Al tersalut penganodan dan (d) KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™ tersalut penganodan	153
Rajah 4.27:	Graf perubahan jisim melawan jarak gelongsoran bagi ujian haus Al, KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™, Al tersalut penganodan dan KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™ tersalut penganodan.	158
Rajah 4.28:	Nilai pekali haus bagi sampel Al dan KMA tanpa salutan dan yang mengalami salutan penganodan	160
Rajah 4.29:	Kesan haus PM Al (pembesaran 50x)	164
Rajah 4.30:	Kesan haus KMA diperkuat 15% berat gentian pendek alumina Saffil™ (pembesaran 50x)	165
Rajah 4.31:	Kesan haus Al yang mengalami salutan penganodan (pembesaran 50x)	166
Rajah 4.32:	Kesan haus KMA diperkuat 15 % berat gentian pendek alumina Saffil™ yang mengalami salutan penganodan (pembesaran 50 x)	167

SENARAI JADUAL.

	MS
BAB 2	
Jadual 2.1: Sifat mekanikal bahan matriks dalam bahan komposit (Matthews & Rawlings, 1994)	18
Jadual 2.2: Jenis-jenis penguat yang lazim digunakan di dalam bahan komposit (Mykkanen, 1987).	20
Jadual 2.3 Perbandingan serbuk Al dalam bentuk kepingan dan sfera.	31
Jadual 2.4: Data gentian Saffil™ yang digunakan dalam KMA (Saffil Ltd).	36
Jadual 2.5 Ciri-ciri tiga proses utama untuk penghasilan komposit matriks logam (Begg, 1993)	45
Jadual 2.6 : Ciri-ciri salutan penganodan (Lucas & Clarke, 1993)	52
BAB 3	
Jadual 3.1: Data Serbuk Al (Sumber MSDS # 270644 Y. BDH Ltd. UK)	84
Jadual 3.2 : Ciri-ciri gentian alumina Saffil™ gred RF (Saffil Ltd., UK).	84
BAB 4	
Jadual 4.1: Nilai keseluruhan data kakisan daripada ekstrapolasi Tafel	151
Jadual 4.2: Data sampel bagi ujian haus sampel Al dan KMA	159

Senarai Kependekan Nama

5 % H ₂ SO ₄	Lima peratus isipadu asid sulfurik.
Al	Aluminium
Al 2014	Aloi Al siri 2014
AlN	Aluminium Nitrida
Al ₂ O ₃	Alumina
Al ₂ O ₃ (p)	Partikel alumina
Al ₂ O ₃ (#f)	Gentian pendek alumina
AMC	Aluminium matrix composite
ASTM	America Standard Testing and Materials
B	Boron
BN	Boron Nitrida
B ₄ C	Boron Karbida
C	Karbon/Grafit
CTE	Coefficient thermal expansion
PPT	Pekali pengembangan terma.
PPL	Pekali pengembangan linear
KMA	Komposit matriks Al
KML	Komposit matriks Logam
MMC	Metal matrix composite
KMP	Komposit matriks polimer
KMS	Komposit matriks seramik
NiAl ₃	Nikel Alumida
komposit Al 2024 / Al ₂ O ₃ (p)	Komposit matriks Al 2014 diperkuat partikel alumina
komposit Al 6091/Ni ₃ Al	Komposit matriks Aluminium 6061 diperkuat Ni ₃ Al
komposit Al/Al ₂ O ₃ (#f)	Komposit matriks Al diperkuat gentian pendek alumina Saffil™.
Komposit Al/SiC _(w)	Komposit matriks Al diperkuat sesungut silikon karbida
Ltd	Limited
Penganodan	Penganodan asid sulfurik.
PM	Powder Metallurgy
MS	Metalurgi serbuk
Ni	Nikel
PFZ	Zon bebas pemendakan
SEM	Mikroskop imbasan elektron
SiC	Silikon Karbida
SiC(w)	Sesungut silikon karbida
Si ₃ N ₄	Silikon Nitrida
TiB ₂	Titanium Bromida
XRD	Pembelauan sinar-X
HVN	Nilai kekerasan Vickers
rpm	Putaran per minit
MPa	Mega pascal
SiO ₂	Silika
ppm	Bahagian per sejuta
W	Tungsten
WC	Tungsten Karbida

Senarai Simbol

% berat	Peratusan berat (wt %)
% isipadu	Peratus isipadu (vol %)
E_{corr}	Bezaupaya kakisan
E_{plt}	Bezaupaya pembopengan
i_{corr}	Ketumpatan arus kakisan
η_a	Pengutuban pengaktifan
β	Pemalar Tafel
i	Ketumpatan arus
i_0	Ketumpatan arus awal
i_L	Had ketumpatan arus resapan
D	Pekali resapan
n	Bilangan elektron
F	Pemalar Faraday
C_B	Kepekatan ion-ion dalam larutan pukat
η_c	Pengutuban kepekatan
T	Suhu (K)
η_T	Jumlah Pengutuban
η_{diss}	Pengutuban pelarutan elektrod
F	Daya geseran
P	Daya normal
μ	Pekali geseran
W_a	Tenaga Permukaan
γ_{sv}	Tenaga bebas antaramuka pepejal-wap
γ_{SL}	Tenaga bebas antaramuka pepejal-cecair
γ_{LV}	Tenaga bebas antaramuka cecair-wap

Senarai Lampiran

Lampiran 1	Data penentuan peratus kandungan gentian pendek dalam KMA
Lampiran 2	Data keputusan penganodan asid sulfurik
Lampiran 3	Data ujian kakisan
Lampiran 4	Data ujian haus.
Lampiran 5	Rajah skematik penyediaan ujian kakisan

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

1. **Mohd Nazree D.**, Zainal A. A., Luay B. H.. and Nurulakmal M. S.(2003), *The Effect Of Sintering Time On Hardness And Microstructures Of Aluminium Reinforced With 10 Wt % Al_2O_3 (Sf)*, Proc. 12th Sci. Conf. Electron Microscopy Society of Malaysia.
2. **Mohd Nazree Derman**, Luay Bakir Husin, Zainal Arifin Ahmad and Nurulakmal Mohd Sharif (2004), *The Effect Of Short Fibre Al_2O_3 Saffil™ Reinforcement On Corrosion Behaviour Of Aluminium Composite*, Proceeding on International Conference on X-Ray and Related Techniques in Research and Industry (ICXRI2004), 15-16 September 2004, Grand Plaza Parkroyal, Penang .CD.
3. **Mohd Nazree Derman**, Zainal Arifin Ahmad, Luay Bakir Hussain and Nurulakmal Mohd Sharif (2004), *Microstructures and thermal expansion of PM aluminium reinforced with Al_2O_3 Saffil™*, Proc. 2nd National Colloquium of Postgraduate on Materials, Minerals and Polymers 2004 (MAMIP 2004), 7-8th October 2004, Vistana Hotel, Penang, CD
4. **Mohd Nazree Derman**, Zainal Arifin Ahmad, Luay Bakir Hussain and Nurulakmal Mohd Sharif (2004), *Microstructures Mechanical Properties of PM aluminium reinforced with Al_2O_3 Saffil™*, Proc. 13th Sci. Conf. Electron Microscopy Society of Malaysia 2004,
5. **Mohd Nazree Derman**, Zainal Arifin Ahmad, Luay Bakir Hussain and Nurulakmal Mohd Sharif (2004), *The effect of Sintering Atmosphere on mechanical Behaviour of Al-based MMC*, Proc. The Field-wise Seminar on "Composites and Advanced Materials: Design, Processing and Properties" (CAD-DPP), Hanoi, Vietnam, November 29-30th ,2004

**FABRIKASI DAN PENGANODAN KOMPOSIT MATRIKS ALUMINIUM DIPERBUAT
DARIPADA SERBUK ALUMINIUM BERBENTUK KEPINGAN DAN GENTIAN
PENDEK ALUMINA SAFFIL™**

ABSTRAK

Kajian fabrikasi dan penganodan komposit matriks aluminium (KMA) diperbuat daripada serbuk aluminium berbentuk kepingan dan gentian pendek alumina Saffil™ telah dijalankan. Fabrikasi KMA melalui kaedah metalurgi serbuk (MS) dengan menggunakan kaedah pencampuran kering dalam atmosfera nitrogen dikaji dengan menentukan tempoh pensinteran dan nilai peratusan optimum kandungan gentian pendek alumina Saffil™. Proses penganodan asid sulfurik telah dijalankan dan objektifnya adalah untuk mendapatkan parameter kepekatan asid sulfurik, bezaupaya dan tempoh penganodan yang sesuai untuk KMA. Kandungan optimum gentian pendek alumina Saffil™ (0 hingga 25% berat) ditentukan berdasarkan ujian mikrostruktur, ujian ketumpatan dan keliangan, ujian tegangan, ujian mikrokekerasan, analisis fasa pembelauan sinar-X (XRD) dan ujian pengembangan linear (PPL). Kajian penganodan dijalankan dengan pelbagai kepekatan asid sulfurik (dari 0 hingga 20% isipadu), bezaupaya penganodan (10 V hingga 20 V) dan tempoh penganodan (dari tempoh 0 hingga 60 minit) pada suhu bilik. Kajian kakisan pula dilakukan di dalam larutan 3.5% berat natrium klorida (NaCl) menggunakan pengukuran pengutuban elektrokimia berdasarkan piawai ASTM G5 (1999) manakala ujian pin-atas-cakera digunakan untuk kajian haus. Daripada penyelidikan ini, serbuk Al berbentuk kepingan dan gentian pendek alumina Saffil™ dapat menghasilkan KMA dengan sifat-sifat yang baik dengan menggunakan kaedah pencampuran kering dan disinter di dalam atmosfera nitrogen untuk tempoh 7 jam. KMA yang diperkuat dengan 15% berat gentian pendek alumina Saffil™ dipilih kerana KMA ini menunjukkan keadaan optimum iaitu taburan gentian yang baik dalam matriks Al, berketumpatan 2.61 gcm^{-3} dan keliangan yang rendah 1.33%. Nilai kekuatan tegangan KMA yang diperkuat dengan

15% berat gentian pendek alumina Saffil™ ialah 105.04 MPa, modulus elastik 8.38 GPa dan kekerasan HVN 84.02. Nilai PPL ialah $16.41 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ dan perubahan linear yang kecil malah tiada perubahan fasa seperti yang ditunjukkan menerusi analisis XRD. Bezapaya penganodan 18 V dengan 15% isipadu H_2SO_4 dalam tempoh penganodan 60 minit merupakan parameter penganodan H_2SO_4 yang sesuai untuk KMA ini. Salutan penganodan ini dapat mengurangkan kadar tindak balas kakisan terhadap Al dan KMA dengan menurunkan nilai ketumpatan arus kakisan. Salutan penganodan mengurangkan pekali haus sebanyak 59% pekali haus Al dan 13% pekali haus KMA. Secara keseluruhannya keputusan menunjukkan fabrikasi KMA daripada serbuk Al berbentuk kepingan diperkuat dengan gentian pendek alumina Saffil™ dapat dihasilkan melalui kaedah MS. KMA diperkuat 15% berat gentian pendek alumina Saffil™ merupakan KMA yang terbaik. Kadar kakisan yang tinggi tetapi kadar haus yang rendah ditunjukkan oleh sampel KMA ini berbanding sampel Al. Dari kajian ini juga didapati penganodan H_2SO_4 dapat memberikan salutan yang baik kepada KMA. Sampel KMA tersalut penganodan ini menunjukkan sifat perintang kakisan dan rintangan haus yang baik.

FABRICATION AND ANODISING OF ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE MADE FROM FLAKY ALUMINIUM POWDER AND SHORT FIBRE SAFFIL™ ALUMINA

ABSTRACT

A study of fabrication and anodising on aluminium matrix composites (AMC) made from flaky aluminium powder and short fibre alumina Saffil™ was carried out. AMC fabrication by powder metallurgy methods (PM) using dry mixing and sintered in nitrogen was studied to determine the best sintering time and optimum percentage of Saffil™ alumina short fibres content. Sulphuric acid anodising process was performed and the objective is to obtain suitable parameters of sulphuric acid concentration, anodising voltage and anodising time. Characterisation on AMC included anodised also involved corrosion and wear test. The optimum Saffil™ alumina short fibre contents (0 to wt 25%) was determined by microstructure, density and porosity test, tensile strength, microhardness test, X-ray diffraction (XRD) analysis and coefficient of thermal expansion (CTE) analysis. The study of anodising process was carried out with various sulphuric acid concentrations (from 0 to 20% volume), anodising voltage (10 V to 20 V) and anodising time (from 0 to 60 minutes) at room temperature. Corrosion tests was also done in 3.5 wt% sodium chloride (NaCl) solution using electrochemical polarisation measurement based on ASTM G5 (1999), whereas pin-on-disk test was used for wear testing. From the research, AMC from flaky Al powders and Saffil™ alumina short fibre was successfully produced with good properties using dry mixing method and sintered in nitrogen atmosphere for 7 hours. AMC reinforced with 15 wt% Saffil™ alumina short fibre was selected because it showed optimum properties such as relatively uniform distribution of fibres in Al matrix, relatively low density, 2.61 g cm⁻³ and low porosity 1.33%. The tensile strength value for AMC reinforced with 15 wt% was 105.04 MPa, elastic modulus 8.38 GPa and microhardness HVN 84.02, CTE 16.41 x 10⁻⁶ K⁻¹ and

small linear changes with no new phases as shown by XRD results. Anodising voltage of 15 V and 15 vol% H₂SO₄ in anodising time of 60 minutes were suitable parameters for sulphuric acid anodising of this AMC. The anodising can reduce corrosion reaction rate on Al and AMC with decreasing corrosion current density. Anodising also reduced 59% and 13% wear coefficient of Al and AMC, respectively. Generally, the results showed that good properties of AMC can be fabricated from flaky Al powders reinforced with Saffil™ alumina shorts fibre by PM methods. AMC reinforced with 15% alumina shorts fibre Saffil™ was the best AMC. The AMC showed higher corrosion rate but lower wear rate compared to the Al samples. From the research, it was found that H₂SO₄ anodising was able to give good coating to AMC. The anodised AMC samples showed better corrosion resistance and wear resistance.

BAB 1

Pengenalan

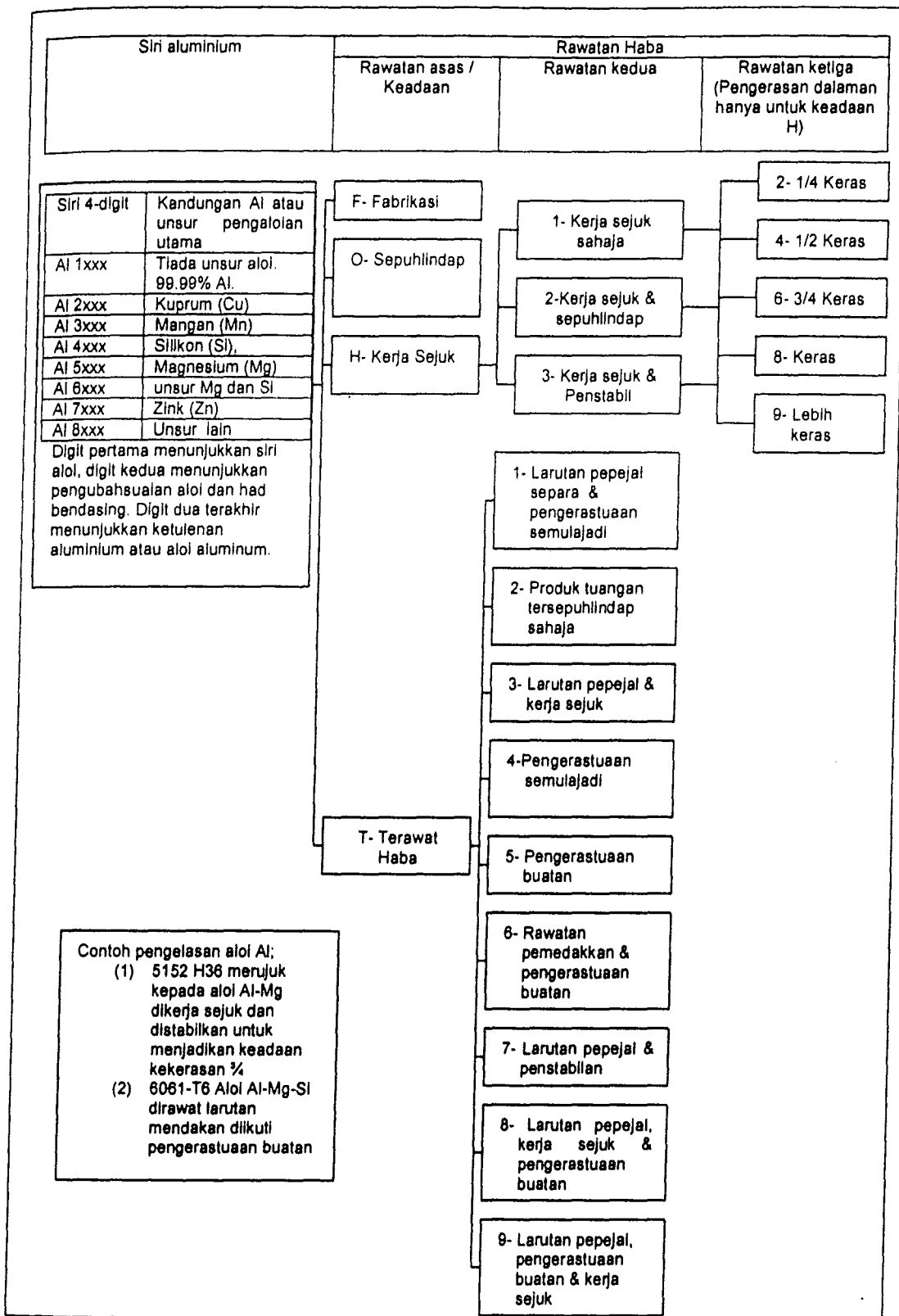
1.1 Pendahuluan

Sejak Humphry Davy mengumumkan pada tahun 1808 bahawa dia mempercayai terdapat suatu logam baru dalam sebatian oksida, maka ramai saintis telah berusaha untuk mendapatkan logam baru tersebut yang dikenali sebagai aluminium (Al). Saintis Denmark, Hans Christian Oersted (1777-1851) dan saintis Jerman, Friedrich Wöhler (1800-1882) telah berjaya menemui Al daripada penurunan aluminium klorida dengan kalium. Namun, penghasilan Al secara komersial telah dilakukan oleh Henri Sainte-Claire Deville dengan melakukan proses penurunan natrium dengan sebatian Al pada tahun 1854 di Perancis. Penggunaan awal Al secara komersial bermula di Perancis pada tahun 1855 ketika zaman pemerintahan Napoleon. Pada masa itu aluminium digunakan untuk tujuan ketenteraan terutamanya sebagai perisai tentera dan topi tentera. Pada tahun 1886, Paul Heroult dan Charles Hall telah membangunkan proses pengekstrakan aluminium daripada alumina secara elektrolisis untuk menggantikan kaedah penggunaan natrium yang mahal. Akhir sekali, Karl Josef Bayer telah memodenkan proses pengekstrakan Al daripada alumina pada tahun 1888 (Habashi, 2003).

Secara umum, kerak bumi mengandungi 8% Al. Selain besi dan keluli, Al adalah salah satu logam yang banyak digunakan dalam pelbagai kegunaan. Al juga tergolong di dalam logam ringan bersama-sama dengan titanium (4.5 gcm^{-3}) dan magnesium (1.7 gcm^{-3}) kerana mempunyai ketumpatan sekitar 2.7 gcm^{-3} berbanding dengan keluli (7.9 gcm^{-3}) dan kuprum (8.9 gcm^{-3}). Maka penggunaan bahan Al ini penting kerana Al dapat mengurangkan berat sesuatu komponen dan struktur. Al tulen yang dikenali dengan nama Al 1xxx menunjukkan sifat mekanikal seperti kekuatan tegangan sekitar 75 hingga 90 MPa. Al digunakan sebagai plat, tiub, wayar, wayar berongga dan peralatan makanan.

Teknologi penghasilan Al berkembang selaras dengan usaha meningkatkan sifat mekanikal dan fizik melalui rawatan haba dan pengaloiian. Rajah 1.1 menunjukkan sistem pengkelasan aloi Al bermula dari siri 2xxx hingga 8xxx. Selain pengaloiian Al, sifat mekanikalnya dapat diperkukuhkan lagi dengan melakukan pelbagai rawatan haba seperti kerja sejuk, sepuhlindap, rawatan pemendakan dan pengerastuaan. Rawatan haba biasanya dikenakan untuk memenuhi keperluan pengguna Al. Sebagai contoh Al 6061 T6 merupakan aloi Al-Mg-Si yang telah mengalami rawatan T6. Rawatan T6 adalah rawatan pemendakan larutan dan diikuti dengan rawatan pengerastuaan. Malahan Al 6061 T6 menunjukkan kekuatan tegangan 360 MPa berbanding Al 1000 (90 MPa). Perkembangan yang pesat telah merubah penggunaan aloi Al ke dalam industri maju seperti aplikasi di dalam kapal angkasa lepas, badan enjin kenderaan automotif dan badan kapal terbang.

Tumpuan teknologi penghasilan Al dan aloi Al yang terdahulu lebih mengutamakan sifat fizikal dan mekanikal semata-mata. Maka, teknologi penghasilan Al dimajukan dengan memberikan penekanan lebih menjurus kepada penggunaan pada suhu tinggi dan rintangan hentaman yang tinggi. Komposit matriks aluminium (KMA) adalah campuran Al atau aloi Al dengan bahan penguat seperti bahan seramik yang lazim seperti alumina (Al_2O_3) (Eijifor & Reddy, 1999; Martinez et. al., 2003; Mezzasalma, 2000; Whitehouse et. al., 1998) , silikon karbida (SiC) (Suresh et. al., 1993; Bhanuprasad et. al., 2002, Zaki & Aleem, 2002), boron (B), aluminium nitrida (AlN), titanium borida (TiB_2) dan grafit (C) (Legzdins et. al., 1997). KMA mendapat perhatian umum saintis kerana ciri-cirinya lebih baik dan menarik berbanding Al dan aloi Al. Di antara ciri-ciri tersebut ialah modulus kekuatan tegangan yang baik, kekuatan rayapan yang tinggi, tahan lesu, rintangan hentaman yang baik dan kekerasan yang tinggi. Ciri-ciri ini juga memberikan kelebihan KMA berbanding bahan komposit yang lain seperti komposit matriks polimer (KMP) dan komposit matriks seramik (KMS). Maka, KMA menjadi lebih popular dalam industri automotif, aeroangkasa dan ketenteraan.



Rajah 1.1: Sistem pengelasan aloi Al dan rawatan haba (Polmear, 1995).

Aplikasi KMA bukan hanya terhad kepada teknologi struktur sahaja, malahan bidang sukan juga memerlukan KMA, contohnya, raket badminton dan tenis diperbuat daripada KMA diperkuat karbon kerana ringan dan mudah dikawal oleh pemain.

Terdapat banyak kaedah fabrikasi KMA antaranya ialah tuangan pepejal, tuangan himpitan, kaedah pembentukan semburan dan kaedah metalurgi serbuk (MS). Namun tiga kumpulan asas utama fabrikasi KMA adalah (i) proses leburan logam, (ii) proses keadaan pepejal dan (iii) pemprosesan mendapan. Kaedah tuangan logam yang berdasarkan proses leburan logam menjadi kelaziman dalam fabrikasi KMA. Produk KMA daripada kaedah tuangan mudah didapati secara komersial kerana kaedah leburan logam lebih murah dan mudah dikendalikan berbanding kaedah MS. Malah kaedah tuangan telah lama ada dalam industri pembentukan logam tanpa bahan penguat. Namun proses leburan logam memberikan masalah kepada produk berikutan daripada kawalan parameter proses yang kurang sempurna dan mengakibatkan tindak balas kimia semasa peleburan logam (Suresh et. al., 1993). Kekangan daripada proses leburan logam ini menjadikan kaedah metalurgi serbuk (MS) yang merupakan fabrikasi berasaskan pemprosesan keadaan pepejal menjadi amat penting dalam penyelidikan KMA. Kaedah MS ini telah memberikan sifat mekanik yang lebih baik terutama KMA diperkuat penguat tidak selanjur seperti partikel atau gentian pendek. Malah produk MS mudah dihasilkan mengikut acuan yang dikehendaki atau produk sempurna (*near net shape*). Kaedah MS menjimatkan kos pemprosesan kerana tidak melibatkan proses sekunder seperti penyemperitan, pemesinan dan penempaan. Namun, kelemahan masih wujud kerana produk MS biasanya mempunyai liang kesan daripada proses pensinteran. Masalah ini juga memberi kesan kepada hasil akhir produk KMA terutama serangan kegagalan seperti lesu, rayap, kakisan dan haus.

1.2 Kesan serbuk Al berbentuk kepingan dalam matriks aluminium (KMA) yang difabrikasi melalui kaedah MS

Kebanyakan kajian MS melibatkan penggunaan serbuk Al berbentuk sfera berbanding dalam penyelidikan ini yang menggunakan serbuk Al berbentuk kepingan. Penggunaan serbuk Al berbentuk sfera mampu memberikan kelebihan kerana KMA yang terhasil akan mempunyai sifat fizikal dan mekanikal yang baik jika dibandingkan dengan serbuk Al berbentuk kepingan (Tang et. al., 2002; Raghukandan et. al., 2003)

Perhatian besar telah dijalankan kepada penggunaan serbuk Al berbentuk kepingan berbanding serbuk Al berbentuk sfera oleh ahli teknokrat dan industri. Penghasilan serbuk Al berbentuk kepingan mendapat perhatian umum kerana dari segi aspek persekitaran dan ekonomi, penghasilan serbuk Al berbentuk kepingan dapat menjimatkan penggunaan tenaga dan merupakan produk hasil daripada kitar semula (Samuel, 2003; Hong & Kim, 2002). Penghasilan serbuk Al berbentuk kepingan dapat dihasilkan daripada bahan Al terbuang di samping proses ini hanya melibatkan proses pengisaran berbanding penghasilan serbuk Al berbentuk sfera yang menggunakan kos pengeluaran yang tinggi disebabkan penglibatan penggunaan leburan logam Al dan gas nitrogen atau gas lengai yang seterusnya meningkatkan kos penghasilan serbuk Al. Walaupun begitu, serbuk Al berbentuk kepingan ini mempunyai kelemahan berbanding serbuk Al berbentuk sfera kerana kandungan oksida serbuk berbentuk kepingan lebih tinggi dan bentuknya tidak sekata. Kelemahan ini menurunkan kualiti produk MS yang dihasilkan.

Namun begitu, penggunaan serbuk Al berbentuk sfera hanya sesuai untuk penghasilan bahan MS tanpa melibatkan pengisar bebola dalam kaedah pencampuran. Hal ini disebabkan oleh serbuk Al berbentuk sfera akan bertukar menjadi kepingan semasa proses pencampuran yang melibatkan penggunaan pengisar bebola.

Kebanyakan kajian menyatakan bahawa sfera Al akan menjadi kepingan melalui tindakan pengalioian mekanikal atau dibentuk semasa pelanggaran bebola dengan serbuk Al. Sebagai contoh, Arik (2004) menyatakan bahawa, Al yang pada awalnya berbentuk sfera akan bertukar kepada bentuk kepingan dan memberikan struktur berbentuk jejarum selepas proses pengisaran bebola. Semasa proses pengisaran bebola, kimpalan sejuk dan pemecahan serbuk berlaku melalui proses pengisaran dan seterusnya pembentukan partikel halus. Pendapat ini juga disokong oleh kajian Arik (2004) yang telah dijalankan ke atas KMA diperkuat Al_4C_3 dihasilkan melalui teknik pengalioian mekanikal. Kajian ini menggunakan serbuk Al dan serbuk hitam karbon (*carbon black*).

Penggunaan serbuk Al tulen berbentuk kepingan bersama dengan gentian pendek alumina Saffil™ masih kurang mendapat perhatian daripada para penyelidik. Kebanyakan penyelidikan tertumpu kepada penggunaan serbuk Al berbentuk sfera seperti yang digunakan oleh Whitehouse et.al. (1998), Johannesson et.al. (2001) dan Kaczmar et.al. (2000). Hal ini disebabkan oleh produk serbuk Al berbentuk sfera mudah didapati di pasaran. Di samping itu, kajian penggunaan serbuk Al berbentuk sfera ini juga dapat memenuhi andaian yang terdapat pada teori pensinteran yang berdasarkan kepada partikel berbentuk sfera. Justeru itu, penyelidikan ini adalah untuk mengkaji kesan proses penghasilan KMA melalui proses MS daripada serbuk Al berbentuk kepingan dengan gentian pendek alumina Saffil™.

1.3 Kelakuan haus dan kakisan KMA yang difabrikasi melalui kaedah metalurgi serbuk (MS)

Haus merupakan mekanisme pemusnahan akibat daya geseran di antara dua bahan yang bersentuhan manakala kakisan adalah mekanisme pemusnah kesan

daripada tindakbalas bahan dengan unsur persekitaran. Kajian haus dan kakisan Al tulen dan KMA merupakan kajian yang sering mendapat perhatian para penyelidik. Pengelasan haus bagi KMA bergantung kepada mekanisme haus itu sendiri. Jenis haus yang mendapat perhatian dalam KMA dan komposit matriks logam (KML) adalah haus lelasan dan haus rekatan (Hutchings, 1994; Akbulut et al., 1997; How & Baker, 1997; How & Baker, 1999; Iwai et al., 2000). Bagi kakisan, pengelasan bergantung pada keadaan persekitaran iaitu kakisan basah dan kakisan kering. Kakisan basah merujuk kepada kakisan yang berlaku pada keadaan lembab atau berair manakala kakisan kering merujuk kepada kakisan bersuhu tinggi (Fontana, 1987). Pada KMA, kajian kakisan yang sering mendapat perhatian para penyelidik adalah kakisan basah kerana kakisan ini lebih sering berlaku (Lucas & Clarke, 1992; Trowsdale et al., 1996; Zaki & Aleem, 2002).

Walaupun diketahui umum bahawa KMA itu sendiri bersifat rintangan haus yang baik, namun kehadiran bahan penguat dan pendedahan pada keadaan haus (seperti di dalam enjin kenderaan) menyebabkan bahan ini tidak dapat mengelak daripada serangan haus yang teruk. Kehadiran bendasing dan liang semasa proses penghasilan MS menyebabkan masalah haus (Wang et al., 2001).

Kakisan di dalam KMA berpunca daripada pelbagai sebab antaranya kandungan penguat, bendasing, liang dan komposisi matriks Al yang digunakan (Lucas & Clarke, 1992). Kebanyakan kajian kakisan terhadap KMA melaporkan bahawa penambahan bahan penguat akan mengurangkan rintangan kakisan. Pelbagai mekanisme kakisan KMA telah dikaji dengan mengambilkira kesan pengasingan unsur pengalioan pada antaramuka matriks/penguat, tegasan tegangan bakian sekitar fasa penguat, ketumpatan kehelan yang tinggi sepanjang fasa penguat, kekosongan pada antaramuka penguat/matriks dan lapisan oksida pada fasa penguat, antaramuka aktif terhasil daripada tindakbalas matriks dan penguat semasa pemrosesan dan kesan

mikrogalvanik bergabung dengan bahan yang lebih elektropositif (Lucas & Clarke, 1992; Trowsdale et. al. 1996; Mansfeld & Perez, 1997).

1.4 Salutan penganodan kepada produk MS

Salutan merupakan salah satu proses akhir dalam pembuatan sesuatu produk Al atau bahan komposit. Penggunaan salutan bertujuan memberikan kemasan terakhir dan menambahkan ciri-ciri tertentu seperti ketahanan kakisan, rintangan haus, lesu dan rayapan. Pelbagai jenis salutan dan rawatan permukaan telah digunakan seperti elektroendapan, semburan api, pelapisan, pencelupan panas, mendapan wap, salutan resapan dan penganodan.

Whittaker (1996) melaporkan bahawa pemilihan suatu rawatan permukaan bagi produk MS merupakan suatu pemilihan yang sukar. Walaupun banyak pilihan rawatan permukaan, namun ciri-ciri produk MS menyebabkan pemilihan rawatan permukaan menjadi terlalu rumit. Keadaan ini sebenarnya disebabkan oleh produk MS yang mengandungi liang yang juga akan mempengaruhi kualiti rawatan dan salutan permukaan produk MS itu sendiri.

Secara prinsipnya, semua salutan permukaan digunakan pada produk berketumpatan tinggi, namun terdapat dua perkara penting yang menjadi perhatian dalam penyalutan produk MS. Pertama, kemampuan untuk mengekalkan had dimensi adalah merupakan suatu kelebihan produk MS. Kedua, produk MS secara lazim mengandungi liang. Kehadiran liang boleh mempengaruhi hasil salutan yang akan dikenakan kepada produk MS (Whittaker, 1996; Bell, 1991).

Salutan juga merupakan sebahagian daripada kejuruteraan permukaan. Antara penggunaan kejuruteraan permukaan yang digunakan pada produk MS adalah salutan,

salutan penukaran kimia, rawatan termokimia, rawatan terma dan kaedah perubahan mekanikal permukaan (Bell,1991). Salutan ditakrifkan sebagai suatu lapisan bahan asing terapan berasingan pada permukaan substrat tanpa mengalami sebarang tindak balas kimia. Contoh salutan ini adalah salutan organik seperti cat di atas keluli lembut. Salutan penukaran kimia merupakan suatu tindak balas kimia antara lapisan permukaan substrat asal dengan bahan luaran. Contoh rawatan ini adalah kaedah penganodan Al dan pempasifan permukaan logam nikel (Ni). Rawatan termokimia merupakan rawatan resapan unsur lain ke dalam lapisan permukaan sesuatu substrat. Contoh rawatan ini adalah pengkarbonan iaitu proses memasukkan karbon pada permukaan logam ferus. Rawatan haba merupakan rawatan yang mengubah mikrostruktur lapisan atas substrat asal dengan mengenakan kitaran terma yang mengakibatkan lapisan ini mengalami transformasi fasa. Kaedah perubahan mekanik permukaan merupakan perubahan secara mekanik lapisan permukaan substrat. Biasanya kaedah ini mengenakan tegasan bakian mampatan yang seterusnya memberikan pepadatan lapisan permukaan.

Kaedah penganodan merupakan kaedah salutan yang lazim digunakan dalam industri Al. Kaedah ini menggunakan prinsip elektrokimia iaitu dengan menjadikan permukaan bahan substrat ini mengalami proses pengoksidaan dan membentuk lapisan yang menutupi permukaan bahan substrat ini. Bahan substrat yang hendak disalut disambungkan ke terminal anod dalam suatu sel elektrokimia. Larutan yang biasa digunakan ialah asid sulfurik, asid nitrik dan asid kromik. Peningkatan terbaik sesuatu prestasi salutan penganodan boleh diperolehi dengan melakukan kedapan. Kedapan boleh dilakukan dengan pelbagai cara, antaranya kedapan secara fizik iaitu kedapan menggunakan bahan organik dan kedapan cara kimia, contohnya merendamkan hasil salutan penganodan di dalam air panas (McColl et. al., 1997).

Kos penganodan adalah rendah berbanding dengan kaedah rawatan permukaan dan salutan yang lain. Penggunaan matriks Al tulen merupakan faktor yang kuat dalam

pemilihan kaedah penganodan kerana kesesuaian logam Al membentuk lapisan nipis alumina berbanding aloi Al (Whittaker, 1996).

1.5 Kesan gentian pendek alumina Saffil™ dalam KMA yang difabrikasi daripada kaedah MS terhadap kelakuan salutan penganodan, kakisan dan haus.

KMA terdiri daripada dua fasa utama iaitu matriks dan bahan penguat. Dalam penyelidikan ini, matriks yang digunakan adalah Al tulen komersial yang dibekalkan oleh BDH Ltd. United Kingdom manakala bahan penguat yang digunakan adalah gentian pendek alumina Saffil™. Bahan penguat ini dibekalkan oleh Saffil Ltd, United Kingdom. Bahan komposit ini dihasilkan menggunakan kaedah MS.

Penggunaan penguat alumina Saffil™ dalam bentuk gentian pendek bertujuan untuk meningkatkan prestasi bahan komposit matriks logam ini dari segi fizikal dan mekanikal. Namun penghasilan KML melalui kaedah MS menghadapi masalah dalam menyerakkan bahan penguat secara seragam kerana gentian penguat ini lazimnya wujud secara bergumpalan. Malah kehadiran liang berbentuk mikro juga tidak dapat dielakkan kerana tabii proses MS itu sendiri (Ejiofor & Ready; 1999; Legzdins et. al., 1997; Bhanuprasad et. al., 2002). Justeru itu, penyelidikan ini memberi tumpuan kepada penyelesaian masalah yang wujud dalam kaedah fabrikasi ini.

Kehadiran bahan penguat iaitu gentian pendek alumina Saffil™ secara umumnya akan memberikan kesan kepada kaedah penganodan yang dijalankan. Gentian pendek alumina Saffil™ yang bersifat penebat dan lengai memberikan kesan terhadap salutan. Mengikut kajian yang dijalankan oleh Hu et.al. (2000) dan McColl et.al. (1997), spesimen KMA yang mengalami proses penganodan boleh meningkatkan prestasi haus.

Kajian salutan, kakisan dan haus terhadap bahan komposit matriks Al diperkuat gentian pendek alumina Saffil™ merupakan kajian dalam bidang bahan termaju. Penyelidikan ini memerlukan satu pemerhatian yang teliti dan diberi tumpuan agar matlamat dan masa hadapan bahan termaju ini dapat diteruskan. Seterusnya hasil daripada kajian ini berguna terutamanya dalam aplikasi industri automotif, aeroangkasa, marin dan pembuatan berteknologi tinggi.

1.6 Objektif penyelidikan

Tujuan penyelidikan ini dijalankan adalah untuk:

- (i) Memfabrikasi komposit matriks Al menggunakan serbuk Al berbentuk kepingan dan gentian pendek alumina Saffil™ melalui kaedah MS iaitu untuk menentukan kandungan gentian yang optimum berdasarkan sifat fizikal dan mekanik KMA yang dihasilkan.
- (ii) Mendapatkan parameter penganodan asid sulfurik terhadap KMA yang dihasilkan daripada serbuk Al berbentuk kepingan dan gentian pendek alumina Saffil™. Kajian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter proses penganodan yang bersesuaian untuk KMA ini seperti bezaupaya penganodan, kepekatan asid sulfurik yang digunakan agar memberikan kesan yang baik terhadap sifat fizikal dan mekanikal serta kimia bahan salutan.
- (iii) Mengkaji sifat kakisan KMA yang disalut penganodan asid sulfurik dan KMA tanpa mengalami salutan.
- (iv) Mengkaji sifat haus KMA yang disalut penganodan asid sulfurik dan KMA yang tidak disalut.

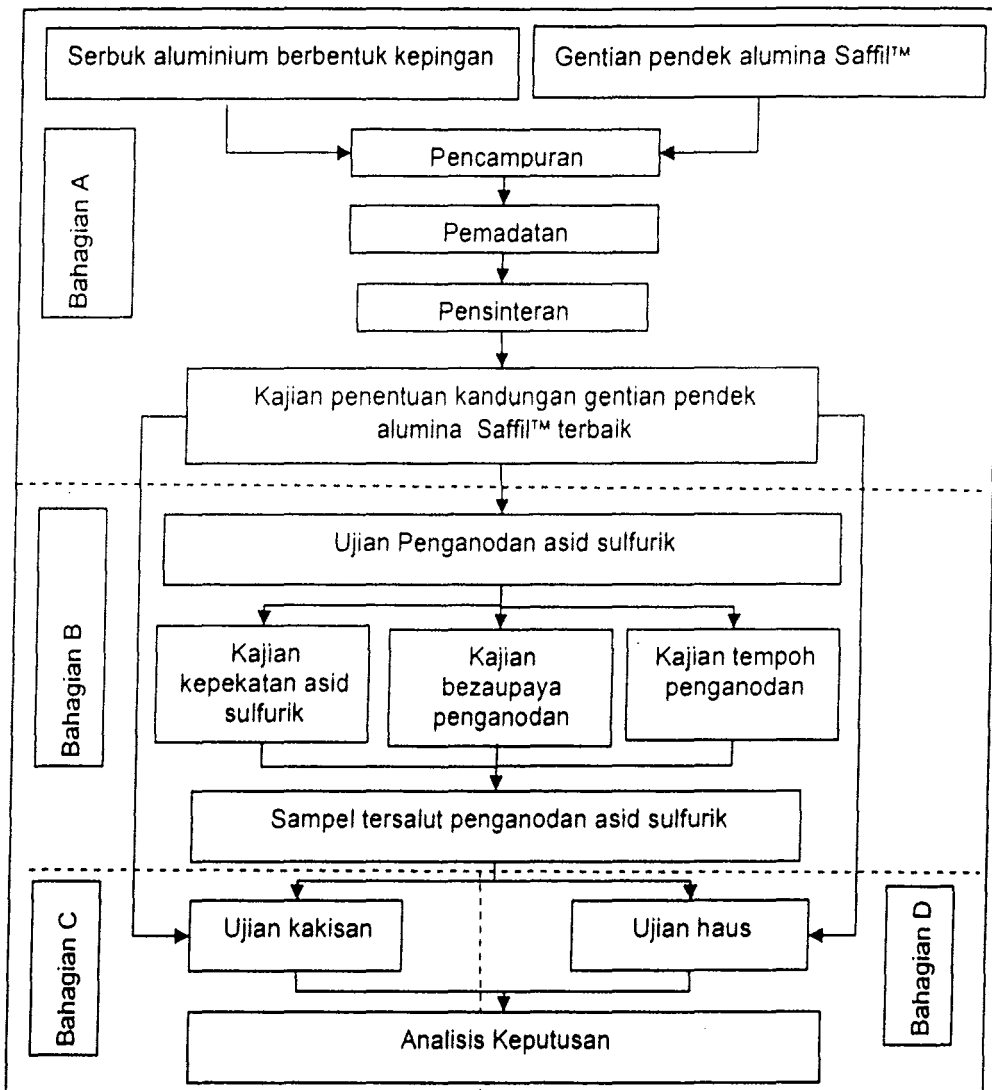
1.7 Pendekatan penyelidikan

Penyelidikan ini dibahagikan kepada empat bahagian utama iaitu bahagian A yang mengkaji fabrikasi KMA yang dihasilkan daripada serbuk Al berbentuk kepingan dan gentian pendek alumina Saffil™ dan bahagian B yang mengkaji penganodan asid sulfurik terhadap KMA yang dihasilkan daripada Bahagian A. Bahagian C dan Bahagian D adalah kajian terhadap kakisan dan haus KMA yang disalut dengan kaedah penganodan asid sulfurik dan KMA yang tidak disalut. Rajah 1.4 menunjukkan carta alir bagi keseluruhan penyelidikan yang dijalankan.

Pada Bahagian A, penyelidikan dijalankan ke atas proses fabrikasi KMA yang dihasilkan dengan menggunakan serbuk Al berbentuk kepingan dengan gentian pendek alumina Saffil™ melalui kaedah metalurgi serbuk (MS). Penyelidikan ini bertujuan untuk mendapatkan parameter yang kritikal pada kedua-dua peringkat pencampuran dan peringkat pensinteran. Setelah mendapatkan parameter yang sesuai, kajian dilanjutkan lagi untuk mendapatkan nilai kandungan gentian pendek alumina Saffil™ yang terbaik dalam KMA ini supaya boleh digunakan dalam Bahagian B, C dan D. Kajian ini lebih mengutamakan kepada pencirian fizikal dan mekanikal KMA yang digunakan.

Bahagian B adalah penyelidikan ke atas proses penganodan asid sulfurik terhadap KMA yang dihasilkan. Proses penganodan asid sulfurik dijalankan untuk menukarkan permukaan KMA menjadi sebatian oksida melalui tindakbalas elektrokimia. KMA yang hendak disalut menggunakan kaedah ini diletakkan pada terminal anod manakala terminal katod merupakan kepingan Al tulen. KMA yang hendak disalut, direndam di dalam larutan asid sulfurik (H_2SO_4). Kajian pada bahagian B ini bertujuan untuk mengkaji kesan kandungan gentian pendek alumina Saffil™ dalam KMA terhadap

proses penganodan yang melibatkan parameter kepekatan asid yang digunakan, bezaupaya penganodan dan tempoh penganodan.



Rajah 1.2 Carta alir perjalanan penyelidikan yang terdiri daripada 4 bahagian eksperimen iaitu Bahagian A, Bahagian B, Bahagian C dan Bahagian D.

Bahagian C merupakan kajian kakisan yang dijalankan ke atas KMA yang disalut penganodan asid sulfurik dan KMA tanpa salutan melalui kaedah elektrokimia. Ujian elektrokimia yang dijalankan adalah ujian pengutuban. Prosedur kajian ini berdasarkan piawai ASTM E-69 (1999) manakala Bahagian D merupakan kajian kelakuan haus KMA. Kajian haus dijalankan ke atas KMA yang disalut penganodan H_2SO_4 dan KMA tanpa salutan melalui teknik pin-atas-cakera.

BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

2.1. Pengenalan kepada bahan komposit

2.1.1 Definisi bahan komposit

Bahan komposit dikategorikan sebagai salah satu kelas di dalam bahan termaju dan digunakan dalam kebanyakan teknologi moden. Bahan komposit mempunyai kombinasi sifat-sifat fizikal dan mekanikal yang tidak dimiliki oleh bahan-bahan konvensional atau lazim seperti logam, seramik atau polimer. Kenyataan ini sememangnya benar sekiranya kita merujuk kepada bahan-bahan dalam industri aeroangkasa, peralatan dasar laut dan pengangkutan. Contohnya, kapal terbang memerlukan bahan-bahan kejuruteraan yang mempunyai sifat-sifat seperti ketumpatan rendah, kekuatan, kekakuan dan kerintangannya terhadap impak dan lelasan yang baik serta tidak mudah mengalami haus apabila terdedah kepada tindakbalas kimia. Pada kebiasaannya, sesuatu bahan yang kuat secara relatif adalah tumpat dan akan menyebabkan peningkatan terhadap kekuatan dan kekakuan.

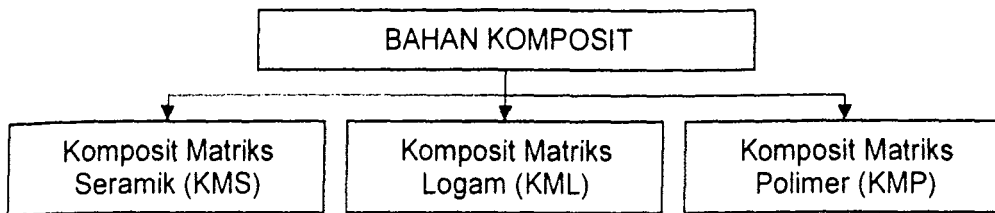
Pada umumnya, bahan komposit adalah sebarang bahan yang mempunyai dua atau lebih fasa yang menunjukkan kombinasi sifat-sifat setiap fasa yang hadir dan akan menghasilkan suatu bahan dengan sifat yang lebih baik dari fasa individunya (Callister, 1994). Namun begitu, tiada definisi yang khusus untuk bahan komposit. Tiga pendekatan telah diterima pakai untuk mendefinisikan bahan komposit iaitu;

- (i) Bahan komposit mengandungi dua atau lebih bahan yang dapat dipisahkan secara fizikal dan mekanikal.
- (ii) Bahan komposit boleh dihasilkan dengan mencampurkan bahan-bahan yang berlainan sehingga sampai ke suatu peringkat dengan salah satu bahan tersebar di dalam bahan yang satu lagi dengan kaedah terkawal agar sesuatu sifat yang optimum diperolehi.
- (iii) Sifat bahan komposit yang terhasil adalah lebih baik dan mungkin unik berbanding bahan yang lain.

Faedah yang diperolehi daripada bahan komposit telah merangsang peningkatan lebih banyak aplikasi baru dalam pasaran seperti pengangkutan, barangan pengguna, peralatan elektrik, alatan sukan, peralatan pesawat dan aeroangkasa, dan peralatan perniagaan. Kelebihan atau faedah daripada penggunaan bahan komposit termasuk kekuatan yang tinggi, rintangan kakisan dan rintangan haus.

Dari segi kekuatan, bahan komposit menunjukkan kekuatan yang optimum berbanding bahan-bahan seramik dan logam, malah bahan komposit boleh dikategorikan sebagai bahan yang mempunyai kekuatan gabungan bahan yang terdapat pada komposit itu sendiri. Contohnya, bahan komposit matriks logam (KML) mempunyai kekuatan gabungan bahan seramik dan logam. Pada umumnya, logam mempunyai kekuatan yang rendah jika dibandingkan dengan KML. Setelah ditambah fasa penguat daripada bahan seramik, kekuatan logam itu bertambah tetapi sifat kemuluran bahan logam tadi berkurangan. Bahan komposit boleh direkabentuk untuk menepati kekuatan spesifik yang dikehendaki bagi sesuatu aplikasi. Kelebihan utama bahan komposit berbanding bahan lain ialah keupayaannya untuk menggunakan banyak kombinasi bahan yang terlibat yang akan mengawal sifat-sifat fizikal dan mekanikal bahan komposit.

Pada masa kini, industri berasaskan bahan komposit terus berkembang sebagai penyumbang utama pengeluaran sesuatu barangan disebabkan oleh sifat-sifat fizikal dan mekanikal bahan komposit yang baik. Pengelasan bahan-bahan komposit adalah berdasarkan kepada jenis fasa matriks dan fasa penguat. Antara fasa matriks yang biasa digunakan ialah polimer, logam dan seramik seperti ditunjukkan pada Rajah 2.1



Rajah 2.1: Pengkelasan bahan komposit mengikut jenis matriks.

Ciri-ciri bahan komposit perlu dipertingkatkan. Kebiasaannya bahan yang kuat dikaitkan dengan bahan yang mempunyai berat yang tinggi dan lebih tumpat. Walaupun begitu, bahan komposit menunjukkan ciri-ciri yang bertentangan dengan kenyataan tadi. Komposit menawarkan bahan yang boleh direkabentuk dengan ciri-ciri seperti ringan dan kekuatan tinggi. Sememangnya, komposit digunakan untuk menghasilkan bahan yang mempunyai nisbah kekuatan kepada berat yang tinggi. Ciri-ciri ini amat penting dalam industri automotif dan aeroangkasa yang memerlukan bahan yang ringan dan kuat seterusnya dapat menjimatkan penggunaan tenaga di samping meningkatkan prestasi sesuatu produk teknologi itu.

Dari segi pembuatan, fabrikasi bahan komposit amat berbeza dengan fabrikasi bahan-bahan yang lazim. Komposit boleh dibuat mengikut bentuk-bentuk yang rumit pada kos yang rendah. Sifat yang fleksibel ini memberikan kebebasan kepada para perekabentuk dan kelebihan ini merupakan mercu tanda kepada kejayaan dalam bidang komposit. Struktur bahan komposit mempunyai jangka hayat yang panjang berserta dengan keperluan untuk membaikpulih yang rendah, maka ketahanan komposit ini merupakan suatu kelebihan bagi kebanyakan aplikasi yang melibatkan bahan komposit (Schaffer et. al., 1999).

2.1.2 Matriks dan penguat

Kebanyakan bahan komposit dihasilkan dari kombinasi dua fasa iaitu fasa matriks dan fasa penguat. Fasa matriks merupakan fasa yang besar pada keseluruhan bahan komposit dan memberikan bentuk pukal. Fasa yang kedua dikenali sebagai fasa penguat. Fasa penguat merupakan fasa yang ditambah ke dalam fasa matriks. Fasa penguat memberikan kekuatan terhadap bahan komposit. Secara umum, fasa penguat terdiri dari pelbagai bentuk iaitu gentian, sesunggut, lapisan, pengisi, zarah dan kepingan. Namun begitu, terdapat juga bahan komposit yang hanya terdiri daripada dua atau lebih fasa penguat tanpa kehadiran fasa matriks. Komposit jenis ini merupakan komposit struktur yang terdiri daripada penguat yang ditindan antara satu sama lain, seperti komposit laminat dan komposit fabrik (Suresh et.al., 1993).

Fasa matriks memainkan peranan yang sangat penting untuk mengekalkan posisi fasa penguat yang baik dari segi orientasi dan juga jarak pisahannya serta melindungi fasa penguat dari kerosakan mekanikal. Fasa matriks memainkan beberapa peranan penting seperti mengikat fasa penguat bersama-samanya dan bertindak sebagai penyebar tegasan ke seluruh komposit dan memindahkan tegasan ke dalam atau ke luar komposit. Selain itu, fasa matriks juga melindungi fasa penguat daripada berlakunya kerosakan permukaan akibat dari lelasan mekanikal atau saling tindakbalas kimia antara komposit dengan persekitaran. Interaksi sebegini menggalakkan pertumbuhan retak yang boleh menyebabkan kegagalan bahan komposit pada tegasan-terikan yang rendah (Callister, 1994). Seterusnya, fasa matriks bertindak sebagai penghalang kepada pertumbuhan dan pergerakan retak. Bagi sesetengah komposit, matriks bertindak sebagai pengalir atau penebat elektrik. Jadual 2.1 menunjukkan sifat mekanik bahan matriks yang digunakan di dalam komposit (Matthews dan Rawling, 1994).

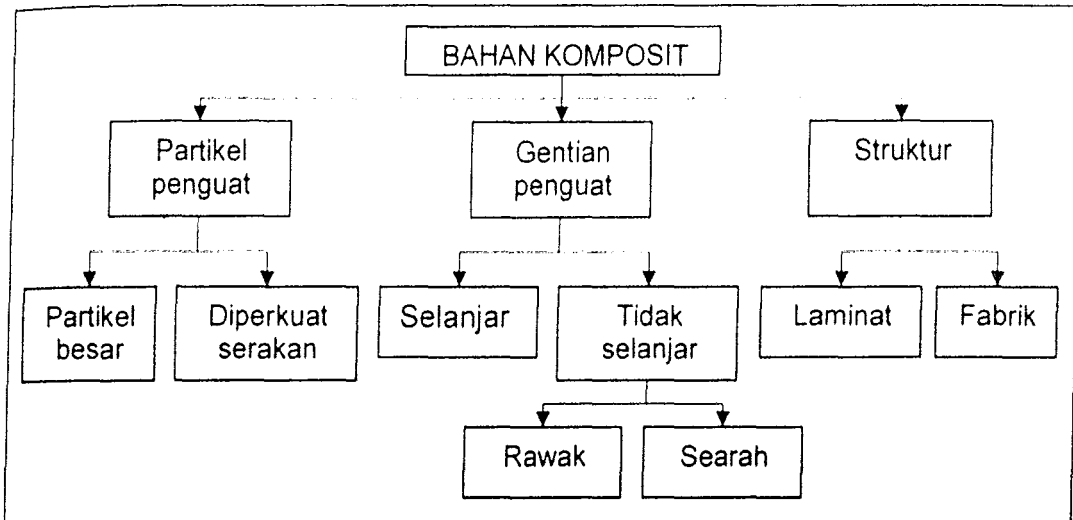
Fasa penguat merupakan bahagian kedua atau bahagian yang mempertingkatkan sifat-sifat mekanik matriks. Dalam kebanyakan kes, fasa penguat adalah lebih keras, kuat, dan kaku, namun begitu terdapat beberapa pengecualian iaitu penguat logam yang mulur di dalam matriks seramik dan penguat getah di dalam matriks polimer yang rapuh. Sekurang-kurangnya salah satu dimensi penguat adalah kecil, misalnya kurang daripada 500 μm .

Jadual 2.1 Sifat mekanikal bahan matriks dalam bahan komposit (Matthews dan Rawling, 1994)

	Ketumpatan (kg/m^3)	Modulus Young (GPa)	Kekuatan (MPa)	Modulus spesifik (GPa) / (mgm^{-3})	Kekuatan spesifik [(MPa) / (Mgm^{-3})]
SERAMIK					
Alumina (Al_2O_3)	3.87	382	332	99	86
Magnesia (MgO)	3.60	207	230	58	64
Silikon Nitrida (Si_3N_4)		1.66	210		
Zirkonia (ZrO_2)	5.92	170	900	29	152
LOGAM					
Al	2.70	69	77	26	29
Aloi Al 3% Zn-0.7% Zr	2.83	72	325	25	115
Loyang (Cu-30% Zn)	8.50	100	550	12	65
Keluli lembut	7.86	210	460	27	59
Aloi Ti-2.5% Sn	4.56	112	792	24	174
POLIMER					
Epoksi	1.12	4	50	4	36
Nilon 6,6	1.14	2	70	18	61
PEEK	1.30	4	70	3	54
PMMA	1.19	3	50	3	42

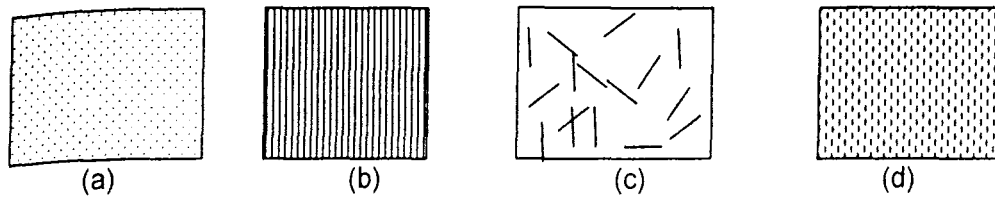
Geometri fasa penguat adalah salah satu daripada parameter utama yang menentukan keberkesanan penguat. Sifat-sifat mekanik bahan komposit bergantung kepada bentuk dan dimensi penguat. Geometri penguat yang lazim di dalam bahan komposit adalah bentuk partikel dan gentian. Penguat partikel mempunyai dimensi yang

hampir sama pada semua arah. Bentuk zarah penguat mungkin sfera, kubik, plat atau sebarang bentuk geometri yang seragam atau tidak seragam. Susunan bagi penguat partikel ini berupa susunan rawak atau pada arah terpilih. Dalam kebanyakan komposit diperkuat partikel, susunan partikel lazimnya adalah rawak. Rajah 2.2 menunjukkan bentuk pengelasan pelbagai bahan komposit berdasarkan penguat.



Rajah 2.2: Bentuk pengelasan pelbagai bahan komposit berdasarkan penguat (Matthews & Rawling, 1994)

Gentian penguat mempunyai ciri panjang yang jauh lebih besar daripada dimensi rentas. Nisbah panjang kepada dimensi rentas gentian dikenali sebagai 'nisbah aspek'. Nisbah ini boleh berubah dengan banyaknya di dalam komposit lapisan tunggal. Penguat yang panjang (dan mempunyai nisbah aspek yang tinggi) akan menghasilkan penguat gentian selanjar, sebaliknya penguat gentian tidak selanjar dihasilkan daripada gentian pendek atau partikel yang mempunyai nisbah aspek yang rendah. Susunan gentian tidak selanjar ini boleh berbentuk rawak atau terpilih. Susunan terpilih yang biasanya dijumpai dalam komposit gentian selanjar dikenali sebagai eka-arah dan keadaan rawak yang setara dikenali sebagai penguat bersulam dwiarah. Rajah 2.3 menunjukkan contoh komposit diperkuat gentian.



Rajah 2.3: Contoh-contoh komposit diperkuat partikel dan gentian (a) partikel secara rawak, (b) gentian selanjur secara eka arah, (c) gentian tidak selanjur secara rawak dan (d) gentian tidak selanjur secara eka-arah (Matthews & Rawlings, 1994).

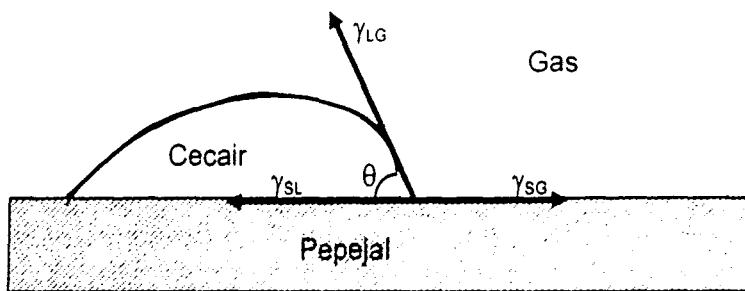
Pemilihan bahan penguat dibuat dengan mempertimbangkan keserasiannya secara kimia dengan bahan matriks. Pemilihan bahan penguat bergantung kepada saiz, bentuk, morfologi, kehabluran dan sifat fizikal dan mekanikal. Saiz biasa merujuk kepada diameter dan nisbah aspek manakala bentuk merujuk kepada ciri fizikal bahan penguat yang umum seperti gentian pendek, hablur sesungut, partikel sfera / tidak sekata. Morfologi permukaan bahan penguat merupakan suatu faktor pemilihan utama yang merujuk kepada keadaan licin, kasar atau menggerutu sesuatu permukaan. Sifat kehabluran juga memainkan peranan penting dari segi komposisi dan fasa yang wujud dalam bahan penguat. Kehabluran bahan penguat merujuk kepada bahan penguat polihablur atau hablur tunggal. Ciri-ciri fizikal lain seperti kekuatan, modulus dan ketumpatan juga diambil kira dalam pemilihan bahan penguat untuk digunakan dalam komposit. Jadual 2.2 menunjukkan jenis bahan penguat yang digunakan dalam komposit.

Jadual 2.2: Jenis-jenis penguat yang lazim digunakan dalam bahan komposit (Mykkanen, 1987).

GENTIAN BERTERUSAN	PARTIKEL	HABLUR SESUNGUT	WAYAR LOGAM
Boron (B)	Tungsten (W)	Besi (Fe)	Tungsten (W)
Grafit (C)	Molibdenum (Mo)	Nikel (Ni)	Titanium (Ti)
Alumina (Al ₂ O ₃)	Kromium (Cr)	Kuprum (Cu)	Molibdenum (Mo)
Silikon Karbida (SiC)	Silikon Karbida (SiC)	Nikel Aluminida (NiAl ₃)	Berilium (Be)
Boron Karbida (B ₄ C)	Boron Karbida (B ₄ C)	Silikon Karbida (SiC)	Keluli Nirkarat
Boron Nitrida (BN)	Titanium Karbida (TiC)	Silikon Nitrida (Si ₃ N ₄)	Niobium-Stanium
Silika (SiO ₂)	Tungsten Karbida (WC)	Grafit (C)	Niobium-Titanium
Titanium Diborida (TiB ₂)	Kromium Karbida (Cr ₃ C ₂)	Alumina (Al ₂ O ₃)	

2.1.3 Antaramuka penguat dan matriks

Kebiasaannya pada bahan komposit akan terdapat dua fasa yang berlainan yang dipisahkan oleh suatu kawasan yang dipanggil antaramuka. Daya sentuhan dan daya lekatan pada bahagian antaramuka adalah amat penting kerana antaramuka penguat-matriks ialah bahagian yang memindahkan tegasan daripada fasa matriks kepada fasa penguat. Keberkesanan pemindahan tegasan adalah bergantung kepada daya ikatan yang wujud pada antaramuka. Secara umumnya terdapat lima mekanisme yang boleh berlaku pada antaramuka iaitu penjerapan dan pembasahan, ikatan mekanikal, ikatan kimia, ikatan elektrostatik dan ikatan antara resapan.



Rajah 2.4 Mekanisme penjerapan dan pembasahan (Matthews & Rawling, 1994).

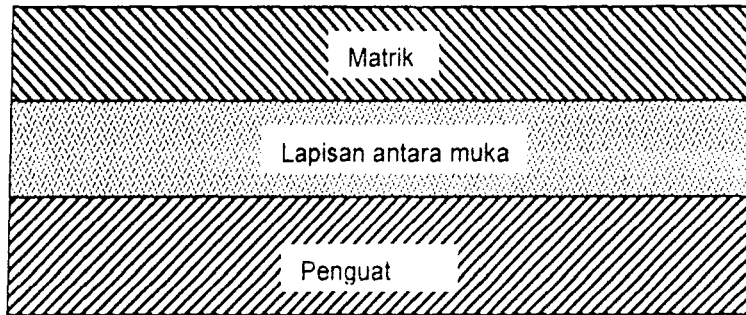
Rajah 2.4 menunjukkan mekanisme penjerapan dan pembasahan. Pembasahan pengisi yang berkesan, leburan fasa matriks perlu menutupi seluruh permukaan fasa penguat agar ruang udara dapat ditingkirkan. Mekanisme ini diberikan oleh persamaan 2.1 yang melibatkan tenaga permukaan di dalam bentuk kerja perlekatan iaitu

$$W_A = \gamma_{SG} + \gamma_{LG} + \gamma_{SL} \quad (2.1)$$

iaitu γ_{SG} ialah tenaga permukaan antara pepejal-wap, γ_{SL} ialah tenaga bagi antaramuka pepejal-cecair dan γ_{LG} ialah tenaga permukaan bagi antaramuka cecair-wap.

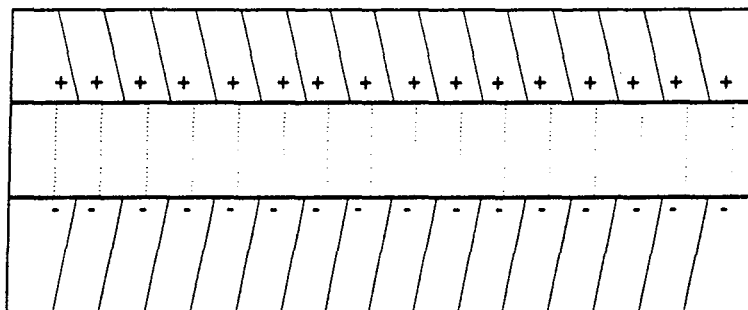
Rajah 2.5 menunjukkan mekanisme antaresapan. Mekanisme antaresapan ialah pembentukan sesuatu ikatan apabila molekul-molekul meresap daripada sesuatu

permukaan ke dalam permukaan yang satu lagi. Kekuatan ikatan adalah bergantung kepada jumlah resapan molekul dan jumlah molekul yang terlibat manakala jumlah resapan bergantung kepada resapan molekul, jujuk yang terlibat dan kemudahan pergerakan molekul.



Rajah 2.5 Mekanisme antaresapan (Matthews & Rawling, 1994).

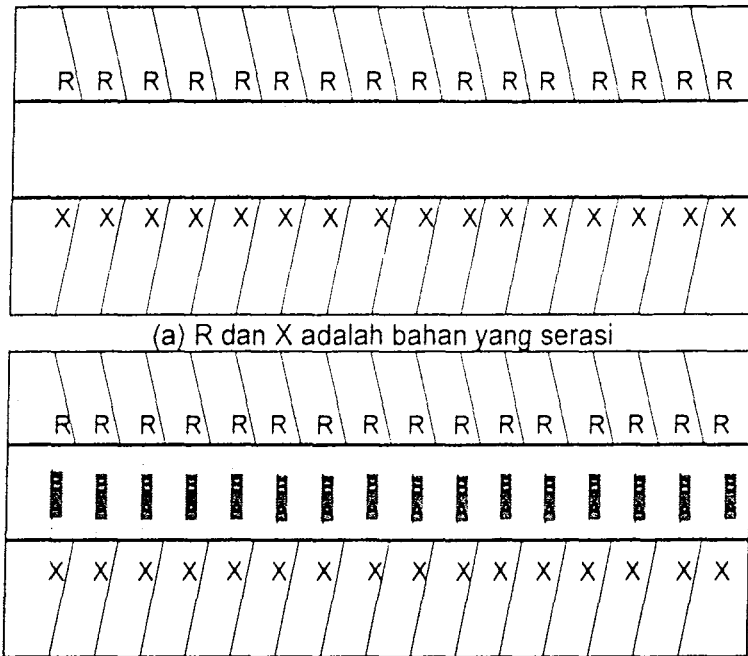
Pengikatan daya tarikan elektrostatik terhasil daripada wujudnya perbezaan cas elektrostatik antara dua fasa matriks dan penguat. Kekuatan pengikatan adalah bergantung kepada ketumpatan perbezaan cas di dalam dua fasa ini. Kekuatan ini tidak menyumbang kepada ikatan antaramuka kecuali apabila agen gandingan (*coupling agent*) digunakan. Rajah 2.6 menunjukkan mekanisme daya tarikan elektrostatik.



Rajah 2.6 Mekanisme daya tarikan elektrostatik (Matthews & Rawling, 1994).

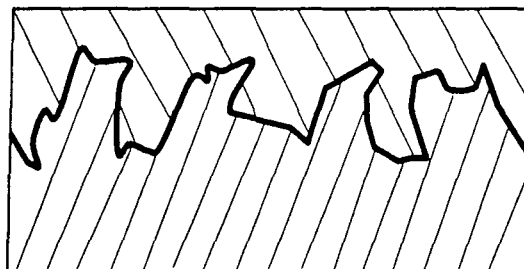
Pengikatan kimia berlaku apabila komposit digunakan bersama agen gandingan dan agen penserasi. Pengikatan kimia terbentuk hasil daripada tindakbalas kimia di antara kumpulan kimia di atas permukaan penguat dan kumpulan kimia yang serasi dengan matriks. Kekuatan pengikatan kimia ini bergantung kepada bilangan dan jenis

ikatan kimia. Rajah 2.7 menunjukkan mekanisme pengikatan kimia. Sebagai contoh jika bahan R dan X yang serasi tidak memerlukan agen gandingan AB. Jika bahan R dan X tidak serasi, maka bahan itu memerlukan agen gandingan AB.



Rajah 2.7 Mekanisme pengikatan kimia (Matthews & Rawling, 1994).

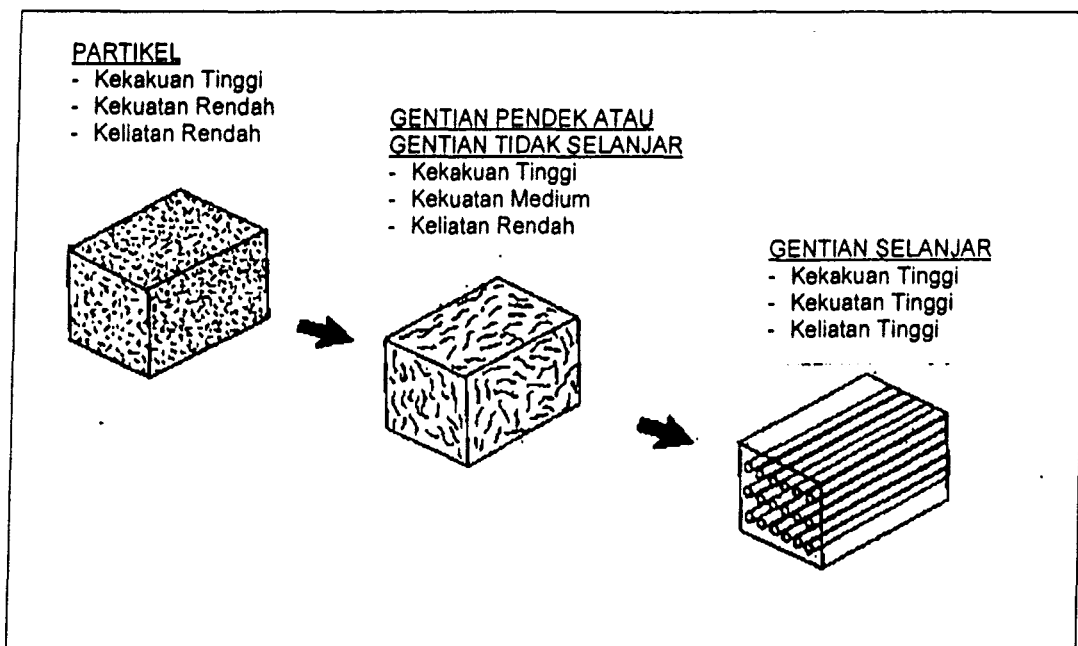
Pengikatan mekanik berlaku secara penguncian mekanik apabila geometri fasa matriks dan fasa penguat adalah tidak rata. Walau bagaimanapun, kekuatan pada arah tentangan melintang adalah lemah berbanding pada arah tegangan menegak atau mod ricih. Antara faktor yang mempengaruhi pengikatan mekanik ialah kekasaran permukaan, aspek geometri, tegasan dalaman dan tegasan baki yang terhasil semasa proses fabrikasi. Rajah 2.8 menunjukkan skematik ikatan mekanik (Matthews dan Rawling, 1994).



Rajah 2.8: Ikatan mekanik (Matthews & Rawling, 1994).

2.2 Komposit matriks logam (KML)

Komposit matriks logam (KML) adalah salah satu jenis bahan komposit. Bahan KML digunakan untuk meningkatkan prestasi sifat fizikal dan mekanikal bahan logam dan aloinya. Pelbagai ciri mekanikal KML dapat diperihalkan berbanding logam tanpa bahan penguat. Hal ini berpunca daripada kelebihan yang wujud dari KML itu sendiri seperti modulus kekuatan spesifik yang tinggi, sifat yang baik pada suhu tinggi, pekali pengembangan termal yang rendah dan rintangan haus (Matthews and Rawling, 1994). Berdasarkan Rajah 2.9, terdapat tiga jenis KML iaitu (i) KML berpenguat partikel yang dihasilkan daripada penambahan partikel kecil bahan penguat dalam bahan logam bertujuan untuk meningkat kekakuan tetapi tidak pada kekuatan. (ii) KML berpenguat sesungut atau gentian pendek merupakan KML yang baik kerana kekuatan bahan penguat ini memberi kesan kepada nisbah aspek yang tinggi dan mewujudkan keupayaan yang tinggi dalam pemindahan beban dan (iii) KML bergentian selanjar (logam diperkuat gentian panjang) iaitu kesinambungan gentian mewujudkan sifat penuh komposit berprestasi tinggi (kekuatan dan kekakuan).



Rajah 2.9: Perbandingan sifat utama dalam KML (Textron, 1986).